



Foto 1.- Pinsapar en la Sierra de las Nieves (Málaga) afectado en algunas zonas por procesos de decaimiento y muerte. Estas formaciones relictas, situadas en enclaves refugio del sur peninsular español, constituyen ecosistemas vulnerables que deben ser necesariamente protegidos

Evaluación de impactos del Cambio Climático en especies bioindicadoras o de interés forestal en España

Paula Gil Hernández¹, María del Carre Díaz² y Ángel Fernández Cancio³

¹Licenciada en Ciencias Biológicas. (CIFOR-INIA).

²Ingeniero de Montes. Fundación para la Investigación del Clima (FIC), Madrid.

³Dr. en Ciencias Físicas. Centro de Investigación Forestal. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimenticia (CIFOR-INIA).

RESUMEN

El Cambio Climático es un proceso que ya está afectando a España. Uno de sus efectos más notables es la alteración del paisaje debido a cambios estructurales en la vegetación. La expresión de este Cambio se produce a través de procesos de decaimiento y muerte, por causas bióticas y abióticas, de las formaciones forestales más significativas. En este contexto, es previsible un desplazamiento de los cinturones de vegetación al alterarse los pisos bioclimáticos de vegetación. Existen metodologías para estimar la dirección e intensidad de estos procesos; una de ellas se expondrá en este artículo.

INTRODUCCIÓN

Actualmente hay evidencias sobre existencia de un proceso de cambio climático que alterará el clima global a lo largo de este siglo. Desde la Revolución Industrial la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera ha ido creciendo constantemente debido a la actividad humana, contribuyendo de esta manera al aumento global de las temperaturas. La comunidad científica internacional, agrupada en el IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), mantiene que el calentamiento global es inequívoco y se atribuye a la acción del hombre con una certidumbre superior al noventa por ciento (IPCC, 2007).

Por tanto la necesidad de tomar medidas es urgente, y para ello se deben emplear todas las herramientas posibles. La preocupación por este fenómeno y sus posibles implicaciones tiene cada vez más importancia entre la comunidad internacional y los gobiernos están llevando a cabo diversas iniciativas. Para resolver el problema hay que abordarlo desde la causa, esto es, es necesario reducir las emisiones de GEI. En este sentido cabe destacar un importante hito: el Protocolo de Kyoto sobre el cambio climático como instrumento internacional para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (Kyoto, 1997).

Pero estos esfuerzos no son suficientes. Incluso en el caso de que se eliminara por completo la causa, los efectos de la misma son ya inevitables. Las emisiones pasadas y presentes han comprometido de alguna manera a la Tierra a un cierto nivel de cambio climático, al menos en las próximas décadas. Es necesario por tanto, enfrentar estos efectos con medidas de adaptación.

Para ello, en primer lugar hay que disponer de escenarios de clima futuro, posteriormente evaluar el impacto de dicho clima futuro en cada uno de los sectores afectados (recursos hídricos, agrícola, forestal, ecología/biodiversidad, energía, turismo, salud, erosión, urbanismo, usos del suelo, transporte, presión migratoria, seguridad alimentaria...), y finalmente diseñar políticas de adaptación, buscando minimizar los impactos negativos y maximizar los positivos.

El papel que el sector forestal juega en esta problemática es de suma importancia puesto que se producen interacciones bidireccionales entre dicho sector y el cambio climático: por un lado por su contribución en la reducción de emisiones de CO₂, y por otro porque el impacto que el cambio climático puede producir sobre él hace necesario tomar medidas para adaptarse a sus efectos negativos.

Además, estas interacciones no son independientes, sino que se ven afectadas por complejos procesos de retroalimentación. Por ejemplo, la aportación del sector forestal a la mitigación por el efecto sumidero de los bosques puede verse afectada si el impacto del cambio climático reduce su capacidad de almacenaje, o si aumenta la problemática de incendios forestales. De este modo el bosque que hacía las veces de sumidero pasaría inmediatamente a convertirse en fuente emisora.

Afectadas por factores abióticos, entre ellos los climáticos, las comunidades vegetales están viéndose alteradas y sufriendo una pérdida de biodiversidad en la actualidad. En países mediterráneos como España, el problema se acrecienta porque el aumento de temperatura repercute en un incremento tanto de la intensidad de la aridez como de la transpiración, con lo que las necesidades hídricas de las plantas aumentan.

Desde 1978 se vienen observando procesos de decaimiento y muerte en especies forestales, en especial del género *Quercus*. El origen del decaimiento o Seca de especies forestales relevantes en España parece estar desencadenado por factores abióticos (clima, suelo, erosión, radiación...) que actúan debilitando al arbolado y lo exponen, más adelante, a los agentes bióticos (plagas y patógenos) que originan la enfermedad y, en algunos casos, la muerte (SÁNCHEZ, G. & PRIETO, M., 2004).

Por todo ello se considera necesaria la aplicación de una metodología fitoclimática predictiva con fines preventivos y protectores de cambios climáticos sobre los montes españoles.

MATERIAL Y MÉTODOS

A continuación se va a describir una metodología para la evaluación del impacto del cambio climático en

especies bioindicadoras o de interés forestal, capaz en la actualidad de suministrar los límites de existencia de una gran variedad de árboles y arbustos de toda España, con respecto a una base amplia de variables e índices fitoclimáticos.

La caracterización fitoclimática de las especies y formaciones vegetales requiere un profundo estudio corológico que permita acotar cada una de las áreas de distribución específica e información climática de un número elevado de estaciones meteorológicas del territorio español.

Las áreas actuales de distribución de las especies vegetales y de las asociaciones que forman se obtienen a partir del II Inventario Forestal Nacional, del Mapa Forestal de España y del Proyecto Anthos de 2007. Estos datos corológicos permiten localizar aquellas estaciones meteorológicas que se encuentran dentro del área de distribución de cada uno de los *taxa* y *sintaxa* de interés. El proceso de selección de estaciones consiste en asociar a los puntos corológicos las estaciones más cercanas (distancia con respecto al punto inferior a 2 Km) y que sólo difieran altitudinalmente en ± 100 m.

Pero la asignación de un conjunto de coordenadas X e Y a una especie en concreto para obtener su corología debe realizarse con sumo cuidado, y estas bases de datos presentan tanto ventajas como inconvenientes.

La base de datos del **Mapa Forestal de España** tiene la ventaja de suministrar una información tan amplia de especies arbóreas y arbustivas que permite detectar su corología de forma continua sobre el territorio español. Sus principales defectos son la inexactitud de los datos y la ausencia de datos altitudinales asociados a los puntos corológicos. Con el fin de evitar este problema en algunas especies se recurre a complementar los datos con los suministrados por el Proyecto Anthos, de modo que cuando existe el punto equivalente en la base de datos Anthos, se eligen sólo las estaciones que están próximas al punto en un radio de 2 Km y ± 100 m de altitud. Sin embargo, la gran mayoría de los puntos no tienen ninguna estación que cumpla estas condiciones.

En cuanto al **Inventario Forestal Nacional** constituye una fuente de in-

formación importante y de calidad en lo que respecta a las masas arbóreas de interés económico. Es la base de datos más exacta porque de ella se obtienen los datos más fiables. Otra ventaja del IFN es que se ha asociado a los puntos de muestreo una coordenada altitudinal aproximada por un Modelo Digital del Terreno. Por tanto, las estaciones elegidas para cada punto corológico se encuentran próximas en un radio de 2 Km y con una diferencia de altitud que oscila entre ± 100 m. Para evitar puntos de compensación edáfica tanto xerófila como hidrófila es conveniente restringir el rango de las especies para cada parámetro fitoclimático al percentil del 95%. Uno de los inconvenientes observados al utilizar el IFN es la agrupación en un sólo taxa de varios individuales. En estos casos, se recurre a las otras dos fuentes corológicas.

Finalmente, el **Proyecto Anthos** (2007) aporta datos corológicos de la flora de España y alguna orientación sobre la de Portugal. Constituye la mejor base de datos para comparar homogéneamente los resultados fitoclimáticos sobre un conjunto de numerosas especies vegetales disponibles. De la totalidad de los géneros españoles se han escogido aquellos de amplia distribución, seleccionando aquellos ricos en especies bioindicadoras, endémicas o de significado fitosociológico. Para ello, se han elegido casi todas las especies arbóreas y arbustivas de la península así como los géneros de herbáceas que incluyen especies con significados fitoclimáticos de interés. Las dificultades de la base de datos del Proyecto Anthos se relacionan sobre todo con la descompensación del muestreo a favor de las zonas de gran interés botánico y con un tamaño de malla demasiado grande en amplias zonas del territorio (10x10 Km²). En este caso, debido a la densidad de malla, se localizan las estaciones cercanas al punto corológico en un radio de 4 Km y ± 100 m de altitud, con lo que en zonas de orografía complicada será necesario acotar bien los rangos de las especies para las distintas variables fitoclimáticas, tomando siempre el percentil del 95%.

El grupo de Fitoclimatología del CIFOR-INIA dispone de un conjunto de 6130 estaciones meteorológicas reales proporcionadas por el Instituto

Nacional de Meteorología (INM) y de un modelo complementario de simulación de estaciones espacio temporal llamado GENTP (MANRIQUE & FERNÁNDEZ-CANCIO, 2005) que permite representar estaciones meteorológicas virtuales en zonas carentes de datos. Para cada estación, se obtienen los valores de 63 parámetros fitoclimáticos (FERNÁNDEZ CANCIO et al., 2004) entre los cuales se incluyen los utilizados en anteriores clasificaciones fitoclimáticas (RIVAS MARTÍNEZ, 1987; ALLUÉ, 1990).

Por tanto, todas las estaciones meteorológicas incluidas en las áreas de distribución de los taxa presentarán unos valores determinados para los 63 parámetros fitoclimáticos y establecerán un ámbito de existencia fitoclimática concreto para cada especie y asociación vegetal. La distribución de los datos de las variables no suelen ajustarse a la normal y por ello se toma un percentil del 95% que asegura el rango de existencia y elimina los posibles outliers para la variable.

Además hay que tener en cuenta los casos en que la distribución corológica es incompleta o excesiva. Cuando el número de estaciones incluido en el área de una especie es escaso, los rangos definidos para las 63 variables deben considerarse insuficientes. De igual forma, cuando hay mucha densidad de puntos corológicos en una zona determinada dentro de un área amplia, el número de estaciones resulta ser elevado en ese territorio y puede que los rangos de la especie estén sobreestimados o sesgados. En ambos casos la especie no queda fitoclimáticamente bien definida.

Conocidos los límites superiores e inferiores de las variables para cada bioindicador con un intervalo de confianza seguro (95%), se representan geográficamente tanto los valores generales de los parámetros como las estaciones correspondientes a las especies y asociaciones en particular, a partir de un sistema de in-

Foto 3.- Seca de alcornoque en el Parque Natural de los Alcornocales (Cádiz). El deterioro de las formaciones de *Quercus suber* L. podría conducir a un abandono progresivo de sus actuales enclaves meridionales y a un desplazamiento hacia biotopos cuyas condiciones se muestren acordes con su ámbito de existencia fitoclimática



Foto 2.- Decaimiento forestal y muerte súbita de encinas en la provincia de Badajoz, provocada por el patógeno *Phytophthora cinnamomi* Rands que se muestra como el agente biótico causante de mortalidad en este punto





Mapa 1.- Área de distribución de *Quercus suber* L. según el II IFN



Mapa 2.- Localización de 455 estaciones meteorológicas incluidas en el área de distribución de *Quercus suber* L.

formación cartográfica y numérica sencillo (Surfer 8), con el objeto de comprender, comparar y explicar las estructuras de vegetación y las especies individuales.

A continuación se precisan simulaciones de variables meteorológicas que reflejen el futuro climático previsto. Estas simulaciones se denominan escenarios climáticos, y para que resulten de utilidad en la evaluación de impactos en cualquier sector, tienen que tener unas especiales características. Se requieren unos escenarios regionalizados, es decir, que den resultados de variables a escala local, puesto que la vulnerabilidad al cambio y el impacto son distintos para cada lugar. Además deben ser predicciones para todo el siglo XXI, pero que al mismo tiempo no se alejen demasiado del momento actual (los primeros escenarios regionalizados arrojaban información para el periodo 2070-2100). Por último, y dependiendo de las aplicaciones, en general se requiere que dispongan de series diarias, (aunque a veces se den agregaciones mensuales).

Una vez introducidos los escenarios climáticos, se definen las variables que se salen de rango y las zonas que no resultarán compatibles con las especies en los nuevos escenarios, así como las zonas a donde pueden transferirse estas especies.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Hasta la fecha se ha trabajado en la definición de índices fitoclimáti-

cos y se han obtenido resultados para ciertas especies utilizando las predicciones de los últimos escenarios globales aportados por el IPCC homogéneamente para todo el territorio español. Uno de estos escenarios establece un aumento de temperatura media anual de 2 °C y mantiene la precipitación existente desde la fecha 1980.

Como ejemplo de esta metodología se propone la distribución biogeográfica de la especie *Quercus suber* L. obtenida del II Inventario Forestal Nacional (Mapa 1). A partir de los puntos corológicos se han calculado un total de 455 estaciones meteorológicas incluidas en el territorio ocupado por el alcornoque (Mapa 2).

Como variable significativa en el proceso de cambio climático se ha elegido el Índice de Termicidad propuesto por Rivas-Martínez, $IT = (MM + TMMF + T) \cdot 10$, donde MM es la temperatura media de las máximas del mes de media más frío, TMMF es la temperatura media de las mínimas del mes de media más frío y T es la temperatura media anual (RIVAS-MARTÍNEZ, 1987). Los valores del IT se representan geográficamente a través del método de interpolación *kriging* que permite obtener los rangos de valores correspondientes a los pisos bioclimáticos de vegetación (Mapa 3).

Finalmente se ha aplicado un escenario de cambio climático donde la temperatura global asciende 2°C. En tal caso, la representación geográfica del IT sobre la península se altera y como consecuencia los pisos de vegetación se desplazan ha-

cía zonas septentrionales o de mayor altitud (Mapa 4).

Con este escenario la distribución espacial de *Quercus suber* L. también sufre modificaciones desplazándose hacia territorios más septentrionales (Mapa 5).

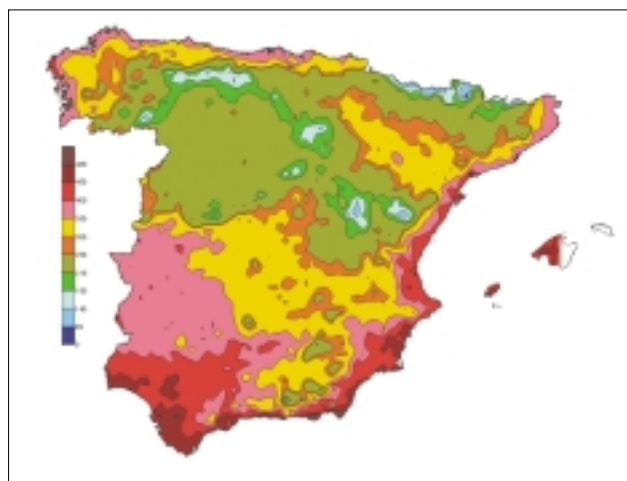
Sin embargo, los modelos utilizados en la predicción de posibles escenarios de cambio climático aplicados a especies concretas y a la vegetación son, como se ha visto, muy generales, y explican los desplazamientos de la vegetación de forma muy global. Por ello, no permiten diferenciar las condiciones particulares de un territorio determinado y la estimación de un posible escenario, en el que la temperatura media anual asciende 2 °C, suele aplicarse a todos los puntos de España por igual, sin considerar orografía, litoralidad, atlanticidad, continentalidad, etc.

Por tanto, se hace necesario el empleo de escenarios regionalizados que permitan estimar los cambios climáticos a una escala local y no general, para posteriormente emplearlos sobre la vegetación. Estos escenarios están disponibles en la actualidad, y ello permite obtener ya los límites de existencia de distintas especies tanto a nivel nacional como regional.

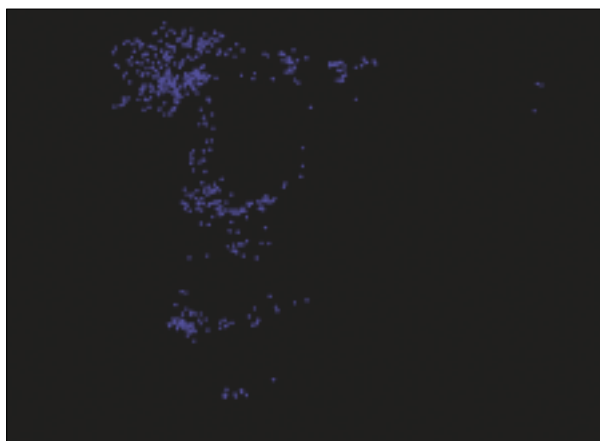
Como ya se ha comentado, el clima es un factor de predisposición que hace a las especies más vulnerables ante factores bióticos. Por ello, el carácter biótico preferente de la expresión del impacto del cambio climático sobre los ecosistemas forestales (hongos, plagas, etc.)



Mapa 3.- Rangos de valores actuales para el Índice de Termicidad establecido por Rivas Martínez en 1987, donde el piso termomediterráneo se representa en color rojo y rosa, el mesomediterráneo en amarillo, naranja y verde claro, el supramediterráneo en verde oscuro y gama de azules y el oromediterráneo en morado. Dentro de la Región Eurosiberiana, los colores azules corresponden al piso montano, los verdes y el naranja, al piso colino, y el amarillo y el rosa al termocolino



Mapa 4.- Rangos de valores para la variable fitoclimática IT al aplicar un escenario en el que la temperatura global asciende 2 °C y la precipitación se mantiene como la existente en el intervalo desde 1980 hasta la actualidad. En la Región Mediterránea se observa un avance considerable hacia el interior peninsular de los pisos más térmicos, desapareciendo casi por completo el mesomediterráneo superior (verde claro) de la mitad sur peninsular y de la cuenca del Ebro. En la mitad norte, el piso supramediterráneo (azules y verde oscuro) se restringe a las zonas de montaña y el oromediterráneo desaparece. En la Región Eurosiberiana el piso colino se retira hacia territorios de mayor altitud a favor de una expansión del termocolino. El piso montano queda relegado a la alta montaña



Mapa 5.- Lugares de refugio y expansión del alcornoque bajo escenario de cambio climático para el año 2050, con elevación homogénea de temperaturas de 2 °C y con el patrón de precipitación actual

aconseja considerar este aspecto como importantísimo. En este punto se lleva trabajando desde hace ya tiempo, pero la metodología no está tan avanzada como la de la fitoclimatología y los escenarios; sin embargo, se dispone de medios para diagnosticar las patologías más importantes y definir su área de impacto asociado a las zonas de mayor alteración climática, así como su evolución en el tiempo a través de una Red de Seguimiento de Daños en los Bosques. 🌲

- ALLUÉ ANDRADE, J. L.; 1990. *Atlas fitoclimático de España. Taxonomías*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. INIA, 225. Madrid. 213 pp.
- COP 7; *Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. 1997. Naciones Unidas, Kyoto.
- FERNÁNDEZ CANCIO, A.; MANRIQUE, E.; NAVARRO, R.; GIL HERNÁNDEZ, P.; FERNÁNDEZ, R.; 2004. *Fitoclimatología de las especies mediterráneas de Quercus ante un escenario de cambios en el clima* in La Seca. Enfoque Climático: El decaimiento de encinas y alcornoques y otros *Quercus* en España. Tuset y Sánchez, coordinadores, pp. 55-88, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.
- MANRIQUE MENÉNDEZ, E.; FERNÁNDEZ CANCIO, A. 2005. *Sistema informático para la generación de datos climáticos y fitoclimáticos*. Actas del IV Congreso Forestal Español, 161-n. Zaragoza.
- RIVAS-MARTÍNEZ, S.; 1987. *Memoria del mapa de series de vegetación de España E 1:400.000*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, ICONA. 268 pp. Madrid.
- SÁNCHEZ, G.; PRIETO, M.; 2004. Procesos de decaimiento en el género *Quercus*: el síndrome de la Seca. *La Seca. Enfoque Climático: El decaimiento de encinas y alcornoques y otros Quercus en España*. Tuset y Sánchez, coordinadores, pp. 19-25, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.
- www.ipcc.ch



FORESTALIS

LA REVISTA DE LOS PROPIETARIOS FORESTALES DE CASTILLA Y LEÓN

Es cuatrimestral y se editan **8.000 ejemplares** que se distribuyen en toda España

PÁGINA WEB: WWW.FAFCYLE.ORG

CONTACTO Y CONSULTA DE TARIFAS EN FAFCYLE@FAFCYLE.ORG

